

III-10 三軸試験中の間隙水圧の挙動について

九州大学工学部 正員 水野 亨明
 正員 徳光 善治
 正員 ○ 川上 浩

飽和粘土に生ずる間隙水圧を考察するには、格子の交点に配置した剛球とバネで縱横に連結したモデルを考へると便利である事は昨年の講演会で述べた。

いかに単純にバネに与ふる力と歪の直線関係(図-1 A線)にあるとしたのでは、実験結果と合はなれるので、力と歪の関係は図-1 B線のごとく変化する特殊なバネであると考へる。

この曲線は図-2に示す通り $\varepsilon > 0$ に對し $\bar{\sigma} = \sigma_f(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}})$, $\varepsilon < 0$ に對し $\bar{\sigma} = \sigma_f(1 - e^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}})$ (1) なる式にしたがうものと仮定した。記号の簡單化のため軸方向の応力歪には suffix 1, 半径方向には suffix 3 をつけておきますものとする。

圧密三軸試験について考へると、等方圧による圧密を終了した時、理論的には供試体に残留する間隙水圧は 0 であるが、実際にはある間隙水圧 u_0 が残留している。

圧縮により生ずる軸方向・半径方向の歪を $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ とすれば、有効応力-歪の曲線を (1) 式と仮定した事により、有効応力は次式で表わされる。

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_f(1 - e^{-\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_k}}) + \sigma_3 - u_0, \quad \bar{\sigma}_3 = \sigma_f(1 - e^{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_k}}) + \sigma_3 - u_0 \quad \dots\dots (2)$$

ここで $\sigma_3 - u_0$ は圧密により生じた有効応力であり、 $\sigma_f(1 - e^{-\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_k}})$ は圧縮により生ずる有効応力である。

一方全応力と有効応力の関係は $\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - u = \sigma_3 + p - u$, $\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - u$ (u : 間隙水圧, σ_3 : 側圧, p : 軸差応力) (3) で表わしうる。又非排水試験故歪 ε_1 と ε_3 の間には

$$\varepsilon_1 + 2\varepsilon_3 = 0 \quad \dots\dots (4)$$

が成り立つ。これから (2) (3) (4) 式を用いて

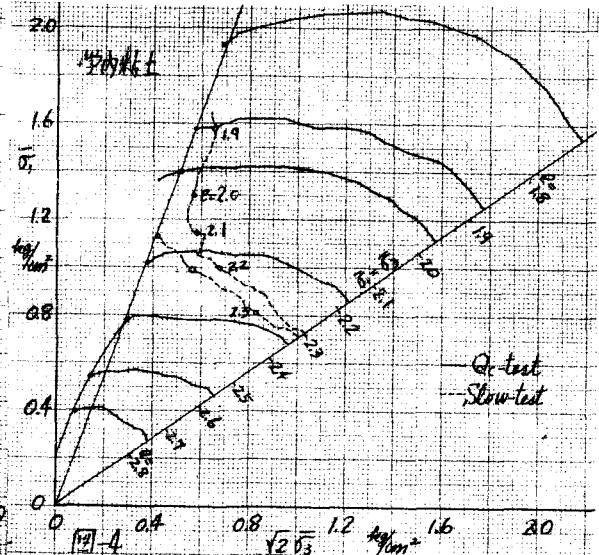
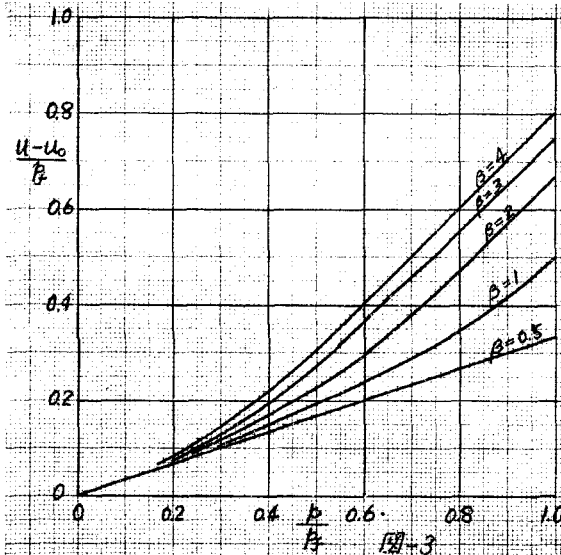
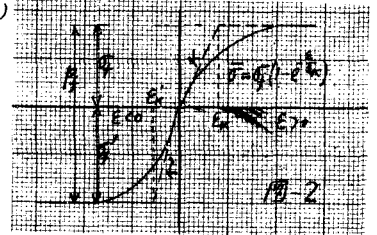
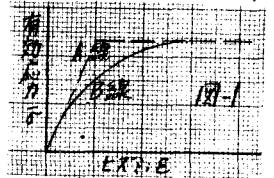
$$\frac{(u - u_0) + p + \sigma_f}{\sigma_f} = \left\{ \frac{(u - u_0) + \sigma_f}{\sigma_f} \right\}^{-\frac{2\varepsilon_k}{\varepsilon_k}} \quad \dots\dots (5)$$

なる関係がえられる。ここで $-\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_k} = \beta$ とおけば

$$1 + \frac{(u - u_0) - p}{\sigma_f} = \left\{ 1 + \frac{u - u_0}{\sigma_f} \right\}^{2\beta} \quad \dots\dots (6)$$

(6) 式右辺と二項定理を展開し、圧縮により生ずる間隙水圧

$(u - u_0)$ が小さいとすれば $u - u_0 = \frac{1}{1+2\beta} p$, $\lambda = \frac{\beta}{1+\beta}$ (7)



なるSkemptonの λ -theoryに一致する式がえられる。いま(17)式のごとく向隙水圧と軸差能力の間に直線関係が成り立つのは圧縮のごく初期の間にだけであり、少なくとも軸差能力が破壊時の値 P_f の $\frac{1}{2}$ までに達する迄を考えると(16)式を用いはならない。

後述のように実験の結果、通常圧密粘土については、圧縮初期の式で $\frac{K}{P_f} = \lambda = 1$ と考える事がわかった。この事はRendulic²⁾, Henkel³⁾、三笠⁴⁾の実験においても報告されている。そこで

(16)式において $\frac{K}{P_f} = \lambda = 1$ とし、(16)式の分母、分子と軸差能力の最大値 P_f で

$$1 + \frac{\frac{u_0}{P_f} \cdot \frac{P}{P_f}}{\frac{P}{P_f}} = \left(1 + \frac{\frac{u_0}{P_f} \cdot \frac{P}{P_f}}{\frac{P}{P_f}}\right)^{\beta} \dots (8)$$

(8)式において β を種々に仮定して計算すると、図-3に示す関係がえられる。 β の値は粘土について1つの常数としておえられると考える。

九大構内粘土($w=120\%$, $e=3.20$, $\gamma_s=1.40$, $S_r=100\%$)の乱れなない試料で Q_c -testを行なった結果をstress planeで示すと図-4の通りである。有効能力は最初 $\sigma_1 = \sigma_3$ 線と直角をなす方向に進むが、この事は軸差能力の $\frac{1}{2}$ に等しい向隙水圧が生じる事を示している。Rendulic²⁾, Henkel³⁾はSlow-testよりえらる等向隙比(含気比)線と Q_c -testの等向隙比線は一致すると述べているが、図-4に若干のSlow-testの結果を併記した結果では同様な関係がみられる。この事はある一定の隙比(含気比)での破壊時有効能力状態は一定であり、通常の安定解析に用いる飽和粘土のマサ角は $\varphi=0$ としなければならぬ事を示している。

圧縮中の有効能力と歪の関係は(11)式にしたがうものと仮定したか、実験結果と仮定曲線とを比較すると図-5のごとく破壊近くを除き非常に近似している。計算に用いた u_0 , P_f と圧密圧力 $\sigma = \sigma_1 = u_0$ との関係と示すと図-6の通りで、粘土について一定の β 値が決まる事が出来る。HenkelがLondon clayについて実験した結果より β とあると $\beta=1.78$ である。図-6より求めた $\beta=2.3$ を用いて(8)式により計算したものと測定値を比較すると図-7の通りである。かように有効能力-歪関係を指数曲線で仮定する事により、軸差能力-向隙水圧の関係を破壊近く、近似的に示す事が出来る。

文献1) A.W. Skempton "A Study of the immediate triaxial test on cohesive soils" Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. 1948.

2) Leo. Rendulic "Ein Grundgesetz der Tonmechanik und sein experimenteller Beweis" Bauingenieur 1937, Aug.

3) D.J. Henkel "The relationships between the effective stresses and Water content in Saturated clay" Geotechnique vol. 10, 1960

4) 三笠 正人 "河川堤防のための土質力学" 土木学会関西支部 1961

